

Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja

10/2000

Kallio Vesa

Pyöräteiden routavauriotutkimus

TIEL 4000239

Oy Edita Ab
Helsinki 2000

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
0521 HELSINKI

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat pyöräteiden pituussuuntaisten routavaurioiden syntymiseen. Raportissa on lisäksi kuvattu pyöräteiden routamitoitukseen soveltuvat rakenneratkaisut.

Tutkimuksessa pyöräteiden routakäyttäytymistä on selvitetty tietokonepohjaisten mallilaskentojen sekä kenttätutkimusten avulla. Tietokonelaskennat tehtiin käyttäen lämmönsiirtymäyhtälön ratkaisemiseen kanadalaista Temp/w ohjelmistoa, jonka jälkeen routanousut laskettiin Temp/W:n laskentatuloksia hyväksikäyttäen segregatiopotentialiteoriaan perustuvalla taulukkolaskentaohjelmalla. Kenttätutkimuksiin valittiin puolet vaurioituneita pyöräteitä ja puolet ehjiä pyöräteitä. Kenttätutkimusohjelmassa tehtiin routavaaitukset ja vauriokartoitukset Oulun ja Lapin tiepiirien alueella olevilla 12 pyörätiellä, joista oli valittu mitattavaksi yhteensä 51 kpl 100 metrin pituista koekohtetta. Routavaaitusten yhteydessä mitattiin kesällä pyöräteiden poikkileikkausmuoto.

Tutkimuksen mukaan kapea pyörätien poikkileikkaus halkeaa roudan vaikutuksesta herkemmin kuin leveämmät maantiet. Tutkimuksen mukaan jo pyörätien keskiviivan ja reunan välinen 10 ...15 mm:n suuruinen routanousuero riittää aikaansaamaan ensimmäiset keskihalkeamat, kun maantiellä vastaava arvo on 25 mm. Edellytykset tämänsuuruiselle routanousuerolle kasvavat tasaisen routanousun ylittäessä 50 ... 70 mm.

Mallilaskentojen perusteella havaittiin pyörätien reunaan kinostuvan lumen paksuuden olevan routanousueroja parhaiten selittävä tekijä. Sama havainto tehtiin myös muutamissa yksittäisissä koekohteissa. Myös pohjamaan maa-laji korreloi hyvin routavaurioiden kanssa. Vaurioita oli eniten siltipohjaisilla pyöräteillä ja vähiten hiekka- ja sorapohjaisilla maapohjilla. Sen sijaan pyörätien rakennekerrospaksuus ja poikkileikkauksen muoto ainoana muuttujana (ei lumen vaikutusta) korreloivat huonosti routavaurioiden esiintymisen kanssa.

Pyörätien routamitoitus voidaan tehdä joko rajoittamalla routimista tai suunnittelemalla routimista sietävä rakenne. Routimisen rajoittamismenetelmiä ovat massanvaihto, lämpöeristeet ja uusiomateriaalien (masuunihiekka, palaturve, rengasrouhe) käyttäminen. Routimista sietävä rakenne saadaan joko lujittamalla rakenne tai käyttämällä routimista sietävää pinnoitetta. Paras lujitettu rakenne on teräsverkkorakenne, jota tutkimuksen perusteella voi suositella routivalla pohjamaalla olevan pyörätien perusrakenneratkaisuksi.

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the factors affecting the formation of longitudinal frost damage to bicycle paths. This report also describes structural solutions applicable to frost design of bicycle paths.

During this study the frost behavior of bicycle paths was modeled using computer calculations and analyzed with the help of field studies. The computer calculations were done using a Canadian Temp/W application to solve the heat transfer equation. The result of the Temp/W calculation was then used in computing frost heave by means of a spreadsheet application based on a segregation potential theory. Half of the bicycle paths chosen for the field studies were damaged and half were undamaged. The field study program consisted of frost and damage surveys of 12 bicycle paths in the Oulu and Lapland districts. Altogether 51 sections of bicycle path 100 m long were chosen as test sites. As part of the frost survey, the cross sectional profile of the bicycle paths was measured in summer.

According to the study, bicycle paths with a narrow cross section are more susceptible to cracking than wider roads. The study also indicated that even a 10 ... 15 mm difference in the rate of frost heaving between the centerline and the edge of a bicycle path is sufficient to cause the first cracks to appear, while the corresponding value for a road is 25 mm. The prerequisites for a difference in the rate of heaving of this magnitude increase when overall frost heaving exceeds 50 ... 70 mm.

On the basis of model calculations, it was noted that the thickness of snowbanks accumulated along a bicycle path is the factor best explaining the difference in the rate of frost heaving. The same observation was made in a few individual test sites. The type of subsoil also correlates well with frost damage. The most damage occurred on silt-based bicycle paths and the least damage on sand and gravel-based subsoils. On the other hand, the thickness of the structural layer and the cross sectional profile of the bicycle path as the only factor (excluding the effect of snow) correlated poorly with the occurrence of frost damage.

The frost characteristics of a bicycle path can be designed either by limiting frost heaving or by designing a structure that withstands frost. Frost heaving can be limited by using soil replacement, insulation and recycled materials (blast-furnace sand, sod peat, tire chips). A frost resistant structure is obtained by reinforcing the structure or by using frost-resistant pavement. The best-reinforced structure is a steel mesh structure. According to the study, this type of structure is recommendable as a basic structural solution for bicycle paths on frost-susceptible subsoil.

ALKUSANAT

Vuonna 1987 tiehallituksen kehittämiskeskus tilasi oululaiselta insinööritoimisto PSV oy:ltä routavaurio- ja kuivatustutkimuksen, jonka tarkoituksena oli selvittää maanteiden rakenne- ja olosuhdetekijöiden ja tien poikkileikkauksen routanousujen välisiä yhteyksiä. Tutkimus raportoitiin 1990- luvun alussa /1 /. Tutkimuksissa havaittiin tien routanousueron selittävän pituushalkeaman todennäköisyyden paremmin kuin tien maksimiroutanousun suuruus. Pituushalkeaman todennäköisyyden havaittiin tutkimuksessa kasvavan huomattavasti, kun tien reunan ja keskilinjän välinen routanousuero ylittää 25 mm. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin mm. tien poikkileikkauksen muodolla olevan vaikutusta tien routakäyttäytymiseen.

Vuonna 1998 tiehallinnon keskushallinto tilasi Tielaitoksen tuotannon Pohjois-Suomen konsultointiyksiköltä tutkimusprojektin "Pyörätien routavaurioiden torjuminen". Tässä tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää, eroaako pyöräteiden routakäyttäytyminen maanteiden vastaavasta, vai voidaanko samat "lainalaisuudet" yleistää koskemaan myös pyöräteitä. Tutkimuksessa ongelmaa on selvitetty sekä tietokonepohjaisilla routamallilaskelmilla että kenttä-tutkimuksilla.

Tiehallinnosta työtä on valvonut DI Kari Lehtonen. Konsultoinnin Pohjois-Suomen yksiköstä projektin päättäjänä on toiminut DI Vesa Kallio. Konsultoinnin Oulun ja Rovaniemen yksiköiden henkilökunta on tehnyt tarvittavat maastotutkimukset. DI Teuvo Holappa Oulun yliopiston Geotekniikan laboratorista on tehnyt tutkimuksessa esitetyt routamallilaskelmat. Raportin viimeistelyyn on osallistunut lisäksi tekn. yo Timo Regina Tielaitoksen Konsultoinnin Pohjois-Suomen yksiköstä.

Helsinki helmikuussa 2000

Tielaitos

Tie- ja liikennetekniikka

SISÄLTÖ

1	PYÖRÄTEIDEN VAURIOT	7
1.1	Vaurioiden esiintyminen Oulun ja Lapin tiepiirien pyörätiestöllä	7
2	TEHDYT TUTKIMUKSET	9
2.1	Mallilaskennat tietokoneella	9
2.2	Kenttätutkimukset	10
2.2.1	Kenttätutkimusten valintaperusteet	10
2.2.2	Vaurioiden esiintyminen havaintotieaineistolla	11
3	TUTKIMUSTULOKSET	12
3.1	Pyöräteiden routavaurioille alttiiden olosuhteiden tunnistaminen	12
3.1.1	Maasto- ja pohjamaaolosuhteet	12
3.1.2	Pyörätiepoikkileikkaus	13
3.1.3	Lumen vaikutus	15
3.2	Pyörätien keskihalkeilua selittävät tekijät	17
4	PYÖRÄTIEN ROUTAMITOITUSPERIAATTEET	20
4.1	Routimisen rajoittaminen	20
4.2	Routimista sietävät rakenteet	22
4.2.1	Lujitetut rakenteet	22
4.2.2	Routimista sietävä pyörätien pinnoite	24
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	25
6	KIRJALLISUUSVIITTEET	26
7	LIITTEET	27

1 PYÖRÄTEIDEN VAURIOT

Kevyen liikenteen väylien vaurioituminen eroaa huomattavasti muiden yleisten teiden vauriokehityksestä, koska kevyen liikenteen väylien liikennekuormitus rajoittuu pääasiassa vain kunnossapitokoneiden kuormitukseen. Tästä syystä suurin osa kevyen liikenteen vaurioista on erilaisia routavaurioita. Routavaurioiden merkitys kevyen liikenteen väylillä korostuu sen takia, että rakenteet ovat ohuita verrattuna maanteiden rakenteisiin.

Pyöräteiden routavauriot ovat tiellä liikkujille usein haitallisempia kuin vastaavat vauriot maanteillä. Tyypillisin pyörätien routavaurio on pituushalkeama ja niitä syntyy pyöräteihin herkemmin kuin autoteihin. Pyöräilijälle pituussuuntaiset halkeamat ovat vaarallisia pyörän renkaan upotessa halkeamaan, kun taas auton rengas ei mahdu vastaavan levyiseen halkeamaan.

1.1 Vaurioiden esiintyminen Oulun ja Lapin tiepiirien pyörätiestöllä

Oulun tiepiirin alueella yleisten teiden varsilla olevia pyöräteitä on 453 km (1.1.1998), joka vastaa noin 12 % Suomen yleisten teiden varsilla olevista pyöräteistä. Pyöräteiden merkitys tienpidossa on kasvanut siihen mittaam, että niiden hoitamiseen tarvitaan oma systemaattinen hallintajärjestelmä, koska yleinen PMS-järjestelmä ei siihen oikein hyvin sovellu pyöräteiden vaatimien erilaisten kuntokriteerien takia. Tämän vuoksi Oulun tiepiiri tilasi vuonna 1995 Oulun yliopistolta tutkimusprojektin, jossa Jari Nymanin opinäytetyönä luotiin esitys pyöräteiden kuntokriteereistä, sekä luotiin kunnan mittaamiseen soveltuva menetelmäkuvaus ja mittauslaitteisto /2/. Samassa yhteydessä mitattiin silloinen koko Oulun tiepiirin 406 km:n pituinen pyörätieverkko ja tiedot siirrettiin tiepiirin T&M Map -karttajärjestelmään, jossa vauriotietoja voidaan esittää karttapohjalla.

Kesällä 1997 kartoitettiin lisäksi samalla menetelmällä 200 km Lapin tiepiirin pyöräteitä (n. 48 %) /3/.

Vaurioinventoinneissa käytettiin vauriosumman laskennassa seuraavia kertoimia:

- poikkihalkeama	3.00*kpl
- reunavaurio	0.25*kpl
- reikä	1.00*kpl
- pituushalkeama	1.00*m
- verkkohalkeama	1.00*m ²

Oulun tiepiirin pyörätiet sijoittuvat vauriosumman perusteella tehdyssä kunto-
luokituksessa seuraaviin luokkiin:

Kuntotaso	Vauriosumman raja	Määrä [km]	Määrä [%]
Erittäin hyvä	0 – 5	236.7	64
Hyvä	>5 – 50	101.9	27.6
Keskinkertainen	>50 – 100	20.8	5.6
Huono	>100 – 150	7.3	2.0
Erittäin huono	>150	3.1	0.8

Määritetyn toimenpiderajan (>100 m²) ylittävien pyöräteiden kokonaispituus oli vain 10.4 km eli alle 3% inventoidun väylästön pituudesta. Tämä määrä tuntuu pieneltä, jos sitä vertaa viime vuonna toteutetusta kenttätutkimusohjelmasta saatuun mielikuvaan koko pyörätiestön tilasta. Kyseessä voi olla pelkästään se, että toimenpideraja asetettiin osittain tarkoitushakuisesti suhteellisen ylös välitöntä kunnostusta vaativien pyörätiekohteiden löytämiseksi.

Yleisin vaurio Oulun tiepiirin pyöräteillä oli ko. tutkimuksen mukaan pitiushalkeama, jonka osuus pyöräteiden vauriosummasta oli 77 %. Poikkihalkeamien osuus vauriosummasta oli 15 % ja verkkohalkeamien ja reikien osuus 8 %.

Kun lopullisessa kuntoluokituksessa otettiin huomioon tasaisuus ja vauriotiedot yhtäaikaan, sijoituivat Oulun pyörätiet kuntoluokkiin seuraavasti:

Kuntoluokka	Prosenttimäärä mitatusta
Erittäin hyvä	47.9
Hyvä	29.1
Keskinkertainen	11.1
Huono	5.6
Erittäin huono	6.4
>Hylkäysraja	11.9

Tämä taulukko vastaa jo paljon paremmin sitä mielikuvaa, jonka kesän- 98 tutkimuksessa saatiin Oulun tiepiirin pyöräteiden kunnosta.

Lapin tiepiirin inventoinnissa mitatut pyörätiet sijoittuivat seuraaviin kunto-luokkiin:

Kuntoarvo	Prosenttimäärä mitatusta
Erittäin hyvä	10
Hyvä	51
Tyydyttävä	19
Huono	16
Erittäin huono	3

On huomattava, että kuntoluokkien raja-arvot eroavat hieman toisistaan Oulun ja Lapin kesken. Kuitenkin raja-arvojen määrittelyeroista riippumatta Lapin tiepiirin pyörätiet ovat keskimäärin huonommassa kunnossa kuin Oulun vastaavat. Tätä tukee myös kevään maastotutkimuksetkin, jossa kaikista huonoimmassa kunnossa olleet kohteet löytyivät juuri Lapin tiepiirin alueelta. Lapin kylmemmät talvet ovat tähän varmasti tärkein syy, sillä vanhoille pyöräteille on yleensä tehty pelkästään kantavuusmitoitus ja siten ne ovat yhtä ohuita kaikkialla Suomessa. Tällä vuosikymmenellä rakennetuissa pyöräteissä on Oulun tiepiirissä alettu kiinnittämään tarkempaa huomiota pyörätien routamitoitukseen. Rakenteita ei ole juuri kuitenkaan vahvennettu, vaan routamitoitus on hoidettu käyttämällä routaeristyksessä masuunihiekkaa ja palaturvetta. Aivan viime vuosina myös teräsverkotetut pyörätiet ovat yleistyneet.

2 TEHDYT TUTKIMUKSET

Tutkimuksessa käytettiin seuraavia tutkimusmenetelmiä:

- lyhyt kirjallisuustutkimus Suomessa aihepiiriä sivuavista tutkimuksista
- routanousun mallintaminen tietokonelaskennoilla
- kenttätutkimukset

Näillä menetelmillä saatua dataa on analysoitu uuden tiedon saamiseksi pyöräteiden routakäyttäytymisestä. Tiedon käsittelyssä ja johtopäätösten teossa on lisäksi hyödynnetty empiiristä tietoa, jota on saatu seuraamalla erilaisten pyöräteiden ja maanteiden rakenneratkaisujen toimivuutta.

2.1 Mallilaskennat tietokoneella

Tutkimusprojektin alkuvaiheessa suoritettiin pyörätiepoikkileikkauksen routanousun mallilaskentoja routanousuun vaikuttavien tekijöiden hahmottamiseksi. Laskentamenetelmänä käytettiin Oulun yliopiston geotekniikan laboratoriossa kehitettyä menetelmää, jolla routalaskelmat tehtiin 2D-ympäristössä, käyttäen lämmönsiirtymäongelman ratkaisussa kanadalaista ohjelmaa

Temp/w ja routanousun laskennassa Segregaatiopotentiaalteoriaan perustuvaa Excel-taulukkolaskentaohjelmaa /4/.

Laskelmissa varioitiin seuraavia tekijöitä käyttäen esitettyjä parametriarvoja:

- pakkasmäärä $F=28.000^{\circ}\text{Kh}$, 42.000°Kh ja 55.000°Kh
- pohjamaan segregaatiopotentiaali $SP = 2, 4$ ja $8 \text{ mm}^2/\text{Kh}$
- pengerkorkeus = 1.6, 0.8, 0.4, 0.0, -1.0, -3.0 m
- ojasyvyys = 0, 0.4 ja 1.0 m
- luiskan kaltevuus = 1:1.5, 1:2, 1:3 ja 1:4
- lumen paksuus luiskalla = 0.05, 0.20 ja 0.50 m

Laskelmissa käytettiin seuraavaa tien rakennetta:

- päällyste 50 mm
- kantava 300 mm
- suodatin 400 mm

Laskelmissa käytettiin näiden parametrien erilaisia kombinaatioita, mutta koko muuttujamatriisia ei voitu luonnollisestikaan varioida kaikkien yhdistelymahdollisuuksien mukaan, koska yhdistelymahdollisuuksia olisi tullut useita tuhansia. Tutkimuksessa laskettiin kaikkiaan 62 eri laskentapoikkileikkausta. Kaikissa laskentapoikkileikkauksissa käytettiin 3 segregaatiopotentiaalin arvoa.

2.2 Kenttätutkimukset

Kenttätutkimuksessa suoritettiin pyöräteiden routavaaitukset ja vauriokartoitukset keväällä -98. Kesällä -98 suoritettiin routavaaitusten kesävaaitukset sekä mitattiin pyörätiepoikkileikkausten muoto. Mittaukset tehtiin vaaituskooneella ja takymetrikalustolla.

2.2.1 Kenttätutkimusten valintaperusteet

Tutkittavat pyörätiet pyrittiin valitsemaan siten, että haljenneita poikkileikkauksia ja ehjiä poikkileikkauksia olisi suunnilleen yhtä paljon. Tutkimukseen pyrittiin valitsemaan erilaisia poikkileikkausmuotoja ja pohjamaatyyppejä eri puolilta Pohjois-Suomea. Tutkimuskohteiden esivalinta suoritettiin T&MMap-karttajärjestelmällä, jossa lähes kaikki Oulun ja suurin osa Lapin tiepiirien pyöräteiden kuntotiedoista on esitetty karttapohjalla. Lopullinen tutkimuskohteen valinta tehtiin maastokäynnin perusteella, jonka yhteydessä kohde merkittiin maalimerkinnoilla maastoon.

Tutkimuksessa koetieosuutena käsiteltiin 100 metrin pituista pyörätieosuutta, joista osa saattoi olla samalla pyörätiellä joko erillisenä pätkänä tai peräk-

käisinä 100 metrin jaksoina. Tutkimukseen valittiin kaikkiaan 51 kpl 100 metrin pyörätiejaksoa, jotka sijaitsivat 12 eri pyörätiellä. Oulun tiepiirin alueella mitattiin 9 pyörätietä, joissa oli yhteensä 42 100 metrin mittausjaksoa. Loput kohteista sijaitsivat Lapin tiepiirin alueella. Kaikille mittausjaksoille annettiin 2 – 3 kirjaimen pituinen tunniste. Mittausjaksoilla mitattiin yhteensä 377 kpl poikkileikkausta, eli keskimäärin 7.3 poikkileikkausvaaitusta/mittausjakso. Kohteiden sijainti on esitetty liitteissä 1 ja 2.

2.2.2 Vaurioiden esiintyminen havaintotieaineistolla

Tutkimuksessa tien vauriot jaoteltiin pituushalkeamiin, vakaviin pituushalkeamiin ja poikkihalkeamiin. Vakavana pituushalkeamana tutkimuksessa pidettiin hiushalkeamaa selvästi suurempaa yli 20 mm:n paksuista halkeamaa. Osassa tutkimuskohteissa halkeaman leveys on mitattu ja osassa ainoastaan arvioitu silmämääräisesti, joten tältä osin jaottelu on suuntaa antava.

Halkeilu esiintyi tutkimuspoikkileikkauksissa seuraavasti:

Halkeilun tyyppi	Osuus kaikista poikkileikkauksista [%]
Keskihalkeama	56.8
Vakava keskihalkeama	43.8
Poikkihalkeama	24.1

Poikkihalkeilun määrän suhde keskihalkeiluun on tässä tutkimuksessa hyvin samanlainen kuin aiemmin toteutetuissa vaurioinventoinneissa. Keskihalkeamien kokonaismäärää on vaikea saada esille tiepiirien vaurioinventoinneista, koska vauriokriteerien mukaan hyvässä luokassakin voi olla esim. pituushalkeilua tietty määrä 100 metriä kohti. Käyttämällä samoja vauriokriteerejä kuin toteutetuissa pyöräteiden vaurioinventoinneissa, voidaan arvioida yli puolet projektissa tutkituista teistä kuuluvan vähintään kuntoluokkaan hyvä ja 10 – 20 % luokkaan erittäin hyvä. Tutkimusaineiston voidaan siten katsoa edustavan kohtuullisesti koko Pohjois-Suomen pyörätieverkkoa, kuitenkin siten, että vauriotyyppinä roudan aiheuttamat keskihalkeamat ovat ylikorostuneet.

Koko maan pyöräteiden yleisestä kuntotasosta ei ole saatavissa rekisteröityä tietoa. Todennäköisesti tässä aineistossa roudan aiheuttamat vauriot ovat ylikorostuneet koko maan pyöräteiden kuntotilaan nähden.

3 TUTKIMUSTULOKSET

3.1 Pyöräteiden routavaurioille alttiiden olosuhteiden tunnistaminen

Pyöräteiden routamitoituksen tulee perustua maastotulkintaan ja riittävän tarkkoihin pohjatutkimuksiin. Pohjamaaolosuhteiden perusteella suunniteltu uusi pyörätieosuus voidaan jakaa routimattomaan ja routiviin osuuksiin. Routivalla pohjamaalla pohjamaan routimisherkkyttä kuvataan routimiskertoimella (segregaatiopotentiaali).

Tutkimuksen perusteella myös pyörätien poikkileikkauksen avulla voidaan hieman vaikuttaa sen routimiseen siten, että keskihalkeamaa aiheuttava keskikohdan ja reunan välinen routanousuero jää mahdollisimman pieneksi. Lievästi routivalla pohjamaalla poikkileikkausmuodon oikea valinta saattaa yksinään olla riittävä keino estää keskihalkeamien syntyminen.

3.1.1 Maasto- ja pohjamaaolosuhteet

Tutkimuksen perusteella ei havaittu mitään erityisiä maastonkohtia, joilla pyöräteiden routavauriot olisivat korostuneet. Tämä ei tarkoita kuitenkaan sitä, etteikö maasto-olosuhteilla olisi vaikutusta routavaurioriskeihin. Tämän tutkimusprojektin pyöräteillä tierakenteet olivat niin ohuita, että routavaurioita oli syntynyt joka paikassa routivilla pohjamailla riippumatta maaston pintamuodoista. Tunnetusti maastonmuotojen kannalta pahimpia routavaurioiden syntymiselle otollisia maastonkohtia ovat mm. seuraavat:

- pyörätie on leikkauksessa (esim. alikäytävien yhteydessä)
- pyörätie on sivukaltevassa maastossa
- pyörätie on pohjamaan muutoskohdissa

Pohjamaaolosuhteiden vaikutusta pyöräteiden routavaurioihin ei voitu arvioida kovin tarkasti, koska kaikista kohteista ei ollut käytettävissä pohjamaan maalajitietoa. Lisäksi näytteenottoväli on ollut niin harva, että yhdelle 100 metrin osuudelle on yleensä tehty korkeintaan 1 – 2 näytteenottoa ja kaikilla osuuksilla ei ainoatakaan. Pohjamaaolosuhteita on tulkittu näytteenoton ja muiden maastotietojen perusteella siten, että pistekohtaisen näytteenoton perusteella saadun maalajin esiintymisalue on rajattu muiden tietojen perusteella. Jos koeosuudelta ei ole otettu ainuttakaan näytettä, maalajia ei ole arvioitu lainkaan. Näistä syistä johtuen arvio on hyvin karkea. Käytettävissä olevien lähtötietojen perusteella saatiin pohjamaan vaikutuksesta pyörätien routavaurioihin *taulukon 1* mukainen tieto.

Suurin routahalkeiluriski näyttää tämän tutkimusaineiston mukaan olevan silttisillä maalajeilla ja pienin hiekalla, hiekkaisella soralla ja soraisella hiekkamoreenilla. Turvealueilla keskihalkeilu on ollut myös yllättävän pientä.

Taulukko 1: Keskihalkeamien esiintyminen eri pohjamaan maalajeilla

Maalaji	Havaintomäärä	Keskihalkeaman esiintymis- %
Turve	11	18
Liejuinen siltti	37	84
Savinen siltti	50	74
Siltti	62	60
Karkea siltti	19	74
Hiekka	15	0
Hiekkainen sora	26	19
Silttinen hiekkamoreeni	20	45
Hiekkamoreeni	28	39
Sorainen hiekkamoreeni	10	10
Ei näytteenottoa	99	54

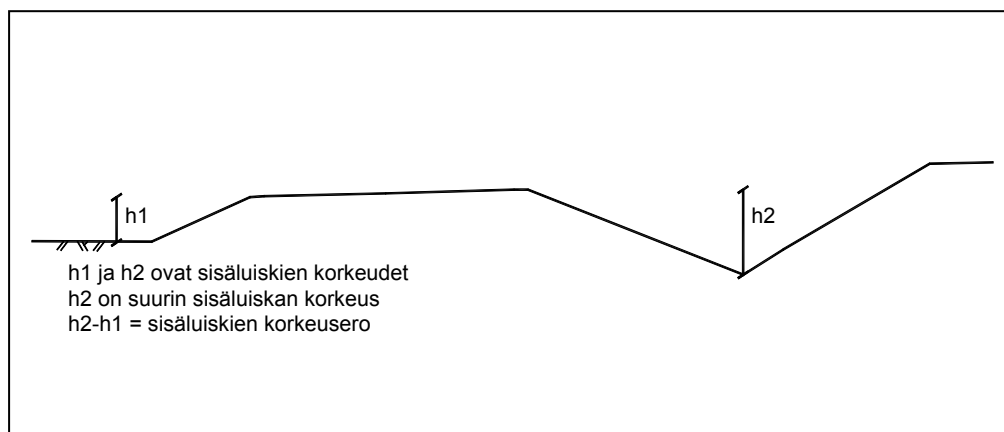
3.1.2 Pyörätiepoikkileikkaus

Pyörätiepoikkileikkauksen muodon vaikutusta routakäyttäytymiseen tutkittiin tehtyjen routamittausten lisäksi myös routanousulaskelmilla. Poikkileikkauksen routanousueroja tarkasteltaessa lumen paksuus on ratkaisevampi tekijä kuin poikkileikkauksen muoto (pengerkorkeus, ojan syvyys, luiskankaltevuus). Tämä ilmeni siten, että pienellä penkereen lumipaksuudella (5 cm) routanousuerot olivat hyvin pieniä (- 7 ... 8 mm) poikkileikkausmuodosta riippumatta. Suurin poikkileikkauksen routanousuero syntyy, kun tien reunalle on kinostunut paksusti lunta pyörätien pinnan ollessa lumeton. Suurimmat 15 ... 20 %:n routanousuerot saatiin laskelmilla, kun pientareen lumen paksuus oli 20 cm tai 50 cm ja matalalla penkereellä oli syvä oja. Pyörätien reunan routanousu on laskelmien mukaan keskikohdan routanousua noin 5 ..10 % suurempi tapauksissa, joissa lumen paksuus on pieni ja pengerkorkeus 0.4 ... 0.8 m. Esimerkki laskelmatulostuksesta on esitetty liitteessä 3 ja yhteenveto tehdyistä laskelmista liitteessä 4.

Laskelmilla saadut routanousuerot olivat suuruusluokaltaan maksimissaan – 20 ... 30 mm. Tyypillisesti tietokonelaskelmilla saatiin 10 ... 20 mm:n routanousueroja, jotka vastaa hyvin pyöräteiltä käytännössä mitattuja keskimääräisiä routanousueroja. Kenttätutkimuksissa havaittujen suurimpien routa-

nousuerojen ”toistamiseen” laskennallisesti käytetty ohjelmisto ei pystynyt laskettujen arvojen jäädessä mitattuja pienemmäksi.

Maastotutkimuksilla yritettiin saada havaintoja siitä, mitä pengerkorkeus, ojasyvyys ja luiskankaltevuus vaikuttavat epätasaisen routanousun syntymiseen. *Kuvassa 1* on esitetty routavaurioiden analysoinnissa käytetty pyörätiepoikkileikkauksen termistö.



Kuva 1: Käytetty termistö

Pituussuuntaisten routavaurioiden esiintyminen verrattuna pyörätien poikkileikkauksessa esiintyvään suurimpaan sisäluiskan korkeuteen (tien reunan korkeus – ojan pohjan/pohjamaan korkeus) on esitetty *taulukossa 2*.

Prosentuaalisesti eniten pituussuuntaisia pyörätien routahalkeamia esiintyi pyörätien ollessa leikkauksessa ja vähiten sisäluiskan korkeuden ollessa 200 – 400 mm. Tutkimusmäärien ollessa pieniä ja asiaan vaikuttavia muuttujia useita on mahdotonta vetää tästä mitään yleisiä johtopäätöksiä.

Taulukko 2: Pituussuuntaisten routahalkeamien esiintyminen verrattuna pyörätiepoikkileikkauksessa esiintyvään suurimpaan sisäluiskan korkeuteen (= tien reunan korkeus – ojan pohjan/pohjamaan korkeus).

Suurin sisäluiskan korkeus (mm)	Pituussuuntaisten routahalkeamien esiintyminen	
	(kpl)	(%)
Leikkaus	18	71
0 – 200	11	60
200 – 400	6	19
400 – 600	39	55
600 – 800	50	54
800 – 1000	39	43
1000 – 1200	13	47
1200 – 1400	15	35
1400 – 1600	11	35
> 1600	12	44

Em. korkeusero on useimmiten erisuuri pyörätien reunoilla, koska päätien puolella pyörätiellä on usein päätien kanssa yhteinen oja ja pyörätien toisella puolella ojaa ei aina ole lainkaan. *Taulukossa 3* on esitetty miten tämä vasemman ja oikean sisäluiskan korkeusero ero korreloi havaittujen pituussuuntaisten routahalkeamien kanssa.

Taulukko 3: Pituussuuntaisten routahalkeamien esiintyminen verrattuna pyörätien vasemman ja oikean sisäluiskan korkeuseroon.

Pyörätien sisäluiskien korkeusero (mm)	Pituussuuntaisten routahalkeamien esiintyminen	
	(kpl)	(%)
0 – 200	82	53
200 – 400	54	65
400 – 600	37	49
600 – 800	19	40
800 – 1000	11	44
> 1000	11	64

Sisäluiskien korkeuserolla pituussuuntaisten routahalkeaminen esiintymistä ei voi ennustaa.

Pyörätien sijainnilla joko täysin erillisenä väylänä päätiehen nähden tai siten, että päätiellä ja pyörätiellä on yhteinen oja ei tutkimusaineiston mittauksien perusteella ollut vaikutusta pituussuuntaisten routahalkeamien esiintymiseen. Molemmissa tapauksissa pituushalkeamia esiintyi tällä aineistolla täsmälleen yhtä paljon.

3.1.3 Lumen vaikutus

Tutkimuksen mukaan lumenaurastavalla voidaan vaikuttaa pyörätien keskihalkeiluun. Muutamassa tutkimuskohteessa havaittiin, että keskitiellä ja toisella reunalla routanousut olivat yhtä suuria, mutta päätien puoleisella reunalla maksimissaan jopa 90 mm pienempiä. Näin oli esimerkiksi kohteella L4 Limingassa (*kuva 2*). Routanousuerosta on ollut seurauksena vakava lähes 100 mm leveä keskihalkeilu, joka vaarantaa pyörätien liikenneturvallisuuden. Kohteesta on otettu maanäytteet molemmilta puolin pyörätietä routanousukokeita varten. Routanousukoetuloksia ei vielä tätä kirjoitettaessa ollut saatavilla, mutta maalaji näytti olevan molemmilla puolilla tietä silttiä. Pohjavesiolosuhteet ovat myös samat molemmilla puolilla pyörätietä, eikä tien rakennekaan selitä routanousueroa. Ainoaksi routanousueroa selittäväksi tekijäksi on löydetty pyörätien päätien puoleiselle luiskalle kerrostuva paksumpi lumivalli, jota kertyy sekä päätien että pyörätien aurauslumista. Haastattelun perusteella ko. pyörätien auraus tapahtuu toispuoleisella aurala ja auraussuunta on aina sellainen, että kaikki pyörätien lumi tulee päätien puolelle.



Kuva 2: Paha keskihalkeama paikallistien 18628 viereisellä pyörätiellä. Päätien puoleiselle luiskalle kinostuvat paksut aurauslumikerrokset aiheuttavat poikki-leikkauksessa lähes 100 mm:n suuruisen routanousueron. Kesällä-99 pyörätie korjattiin teräsverkkorakenteella.

Myös tietokonelaskennoilla saatiin lumen vaikutuksesta keskikohdan ja reunan välille halkeamia aiheuttavia maksimissaan 20 ... 30 mm:n routanousueroja. Tyypillisesti routanousuohjelman jatkokehittelyssä valittaviin lumen parametreihin kannattaa kiinnittää tarkempaa huomiota, jotta laskelmat saadaan paremmin sopimaan yhteen käytännön mittausten kanssa. Routanousulaskelmat toistavat verrattain hyvin keskimääräiset tapaukset, mutta käytännössä esiintyviä routanousuerojen ääriarvoja ei saada vielä laskelmilla selitettyä.

Tutkimuksen perusteella kunnossapidolle kannattaa suositella pyöräteiden aurauskäytännön muuttamista siten, että lumivalli on kummallakin puolella pyörätietä samansuuruinen. Käytännössä aurausreitit kiertosuuntaa voidaan vaihdella tai jos päätien lumet jo kerrostuvat lähellä olevan pyörätien luiskalle, niin pyörätien lumet voidaan aurata toiselle puolelle. Tämä saattaa olla

riittävä toimenpide estämään keskihalkeaman syntyminen silloin, kun routanousu on pientä, eli noin 50 ... 70 mm:n suuruusluokkaa.

Teoriassa maastoa myötäilevälle ohuelle pyörätierakenteelle ei pitäisi tulla keskihalkeamaa aiheuttavaa poikittaissuuntaista routanousueroa, mikäli tien luiskat pidettäisiin lumettomina läpi talven. Käytännössä tämän idean toteuttaminen lienee vaikeaa ja se soveltuisi vain maalaatikkoratkaisuille, joissa pyörätien tasausviiva olisi lähes maanpinnassa ja tien luiska lähes lumeton.

3.2 Pyörätien keskihalkeilua selittävät tekijät

Mittaustulosten perusteella analysoitiin, miten tien keskikohdan routanousu ja maksimi routanousuero korreloivat keskihalkeamien esiintymisen kanssa havaintotieaineistolla. On muistettava, että tutkimuksessa analysoitiin ainoastaan yhden talven aikana syntyneitä routanousuja ja vaurioita. Talven 1997 – 1998 pakkassumma oli Oulun seudulla 27000 h°, joka on hieman vähemmän kuin kerran 2 vuodessa toistuvaa pakkasmäärä. Vauriot ovat voineet syntyä aiemman kovemman talven johdosta. Ehjiä poikkileikkauksia analysoitaessa voidaan todeta, että tällaisen talven ko. poikkileikkaus ainakin kestää. Tässä yhteydessä tuloksia käsitellään siten kuin vauriot olisivat syntyneet talven 97 – 98 vaikutuksesta.

Pyörätien keskikohdan routanousun ollessa 31 ... 50 mm esiintyi keskihalkeilua 38.3 % (taulukko 4). Pyörätien routanousun ollessa 51 ... 70 mm oli keskihalkeilua 68 % poikkileikkauksista. Noin 50 mm:n routanousu näyttää tutkimuksen mukaan olevan raja, jolloin keskihalkeiluriski kasvaa huomattavasti. Vakavien keskihalkeamien kohdalla riski kasvaa selvästi 70 mm:n routanousun kohdalla (edellisen routanousuportaan arvosta 46 % arvoon 60.9 %).

Taulukko 4: Pyörätien keskikohdan routanousu ja pituussuuntaisten keskihalkeamien esiintyminen havaintotieaineistolla. Alle 30 havainnon rivit suluissa.

Routanousu (mm)	Havaintoja (kpl)	Halkeamia (kpl)	Halkeamia (%)	Vakava halkeama (kpl)	Vakava halkeama (%)
0 – 10	45	9	20,0	4	8,9
11 – 30	44	14	31,8	7	15,9
31 – 50	47	18	38,3	16	34
51 – 70	50	34	68,0	23	46
71 – 90	46	33	71,7	28	60,9
91 – 110	40	27	67,5	22	55
111 – 130	42	33	78,6	26	61,9
131 – 150	34	26	76,5	23	67,6
151 – 170	20	(14)	(70,0)	(12)	(60)
> 170	9	(6)	(66,7)	(4)	(44,4)
Yhteensä	377	214	56,8	165	43,8

Tien poikkileikkauksessa tien keskikohdan routanousu on yleensä suurempi kuin laidassa, jossa lumi toimii eristävänä kerroksena. Keskikohdan ja reunan välisen routanousueron ollessa riittävän suuri, syntyy pituussuuntainen routahalkeama. *Taulukossa 5* on esitetty mittaustulokset, minkälaisilla routanousueroilla keskihalkeamia esiintyi havaintotieaineistolla.

Taulukko 5: Pyörätien keskikohdan ja reunan välinen routanousuero ja pituussuuntaisten routahalkeamien esiintyminen havaintotieaineistolla.

Routanousuero (mm)	Havaintoja (kpl)	Halkeamia (kpl)	Halkeamia (%)	Vakavia halkeamia (kpl)	Vakavia halkeamia (%)
< - 50	6	6	100	5	83,3
- 50 ... -20	21	10	47,6	8	38,1
- 19 ... 0	73	24	32,9	12	16,4
1 – 10	112	55	49,1	45	40,2
11 – 20	73	51	69,9	39	53,4
21 – 30	49	39	79,6	30	61,2
31 – 40	35	25	71,4	18	51,4
41 – 50	6	6	100	6	100
> 50	2	2	100	2	100
Yhteensä	377	214	56,8	165	43,8

Poikkileikkauksen routanousueron ollessa 1 ... 10 mm keskihalkeilu- % oli 49.1. Seuraavalla portaalla 11 ... 20 mm keskihalkeilu-% on selvästi korkeampi, 69.9 %. Tästä voidaan päätellä keskihalkeamien syntymiseen tarvittavan routanousueron olevan suuruusluokaltaan 10 ... 15 mm. Negatiivisen routanousueron (laita routii enemmän kuin keskikohta) pitää tutkimuksen mukaan olla yli 20 mm, ennen kuin keskihalkeiluriski kasvaa merkittävästi

Routavaurio- ja kuivatustutkimuksessa /1/ havaittiin, että maanteillä pituushalkeamien todennäköisyys kasvaa huomattavasti, kun tien reunan ja keskiliinjan routanousuero ylittää 25 mm. Koska pyörätiepoikkileikkaus on karkeasti puolet maantiepoikkileikkausta kapeampi riittää pyörätiellä ainoastaan noin 10 ... 15 mm:n suuruinen keskikohdan ja reunan välinen routanousuero aikaansaamaan samansuuruisen keskihalkeilua aiheuttavan kulmanmuutoksen kuin maantiellä puolet suurempi routanousuero. Tältä osin tutkimustulokset näyttävät olevan samansuuntaisia. Pyörätiet ovat siis maanteitä alttiimpia keskihalkeilulle !

Pyöräteiden routimattomalla rakennepaksuudella on tutkimuksen mukaan huono korrelaatio keskihalkeamien esiintymisen kanssa. Kaikista ohuimmilla alle 400 mm:n rakennepaksuuksilla näyttää halkeamia ja vakavia halkeamia esiintyvän eniten (*taulukko 6*), mutta muutoin tulokset ovat ristiriitaisia. Tästä ei pidä tehdä sellaista johtopäätöstä, että rakennepaksuudella ei olisi mitään merkitystä pyörätien routamitoituksen kannalta. Pikemminkin voidaan sanoa, että tutkitut rakennepaksuudet ja niiden erot olivat niin pieniä, ettei niillä ole juuri merkitystä routamitoituksen kannalta. Tämän lisäksi on otettava huomi-

oon, että paksumpia pyörätierakenteita on suunniteltu etukäteen kantavuuden ja routivuuden kannalta arvioiduille heikoimmille alueille.

Taulukko 6: Pituussuuntaisten routahalkeamien esiintyminen eri vahvuisten pyöräteiden rakennekerrosten kohdalla.

Rakennepaksuus (mm)	Havaintoja (kpl)	Halkeamia (kpl)	Halkeamia (%)
< 400	125	94	75,2
400 – 700	198	78	39,4
> 700	54	42	77,7
Yhteensä	377	214	56,8

Taulukossa 7 on esitetty havaintotulokset, kun rakennepaksuuden lisäksi muuttujaksi otetaan poikkileikkauksen routanousuero.

Taulukko 7: Pyörätien routanousuero ja rakennepaksuus/Keskihalkeamien esiintyminen. Alle 15 havainnon tapauksessa arvot on laitettu sulkuihin.

Routanousuero (mm)	Rakennepaksuus < 400		Rakennepaksuus 400 - 700		Rakennepaksuus > 700	
	halkeamia		halkeamia		halkeamia	
	kpl	%	kpl	%	kpl	%
< - 50	(1)	(100)	(4)	(100)	(1)	(100)
- 50 ... -20	(4)	(66,7)	6	40	(0)	(0)
- 19 ... 0	10	58,8	12	24	(2)	(33,3)
1 – 10	20	64,5	18	29	15	78,9
11 – 20	22	77,3	12	48	15	83,3
21 – 30	18	85,7	12	60	(8)	(100)
31 – 40	15	93,8	19	52,9	(1)	(50)
41 – 50	(3)	(100)	(3)	(100)	(0)	(0)
> 50	(0)	(0)	(2)	(100)	(0)	(0)
Yhteensä	94	75,2	78	39,4	42	77,8

Taulukosta nähdään, että suurimmat routanousuerot ovat yleisempiä ohuimmilla rakenteilla tässä tutkimusaineistossa. Toisaalta nähdään myös, että keskihalkeama syntyy rakennepaksuudesta riippumatta sen jälkeen kun kriittinen routanousuero 11 ... 20 mm ylitetään.

Tässä aineistossa ohuin ja paksuin rakenne näyttävät halkeavan samalla routanousueroilla herkemmin kuin keskipaksu rakenne. Routavaurio- ja kuivatustutkimuksessa /1/ sitä vastoin havaittiin pienten routanousuerojen synnyttämän halkeamatodennäköisyyden olevan paksuilla päällysrakenteilla yli kaksinkertainen verrattuna ohuihin päällysrakenteisiin.

4 PYÖRÄTIEN ROUTAMITOITUSPERIAATTEET

Pyöräteiden käyttäjien kannalta pituussuuntaiset routahalkeamat ovat kaikkein vaarallisimpia vauriotyyppejä, koska ohuen pyörän upotessa halkeamaan voi seurauksena olla vakava onnettomuus. Tämän takia seuraavassa on valittu mitoituksen lähtökohdaksi pituushalkeamien estäminen. Samalla saadaan yleensä myös muutkin routavauriotyypit niin pieniksi, ettei niistä ole haittaa pyöräilijöille.

Pyöräteiden routamitoitus voidaan tehdä kahdella eri suunnitteluperiaatteella:

1. Suunnitellaan rakenneratkaisu, jolla rajoitetaan pyörätien routimista niin pieneksi, ettei pituussuuntaisia routahalkeamia pääse syntymään
2. Suunnitellaan routimista sietävä rakenne, jolla estetään pituushalkeilu

Pyörätien poikkileikkauksen valinnalla voidaan jossakin määrin pienentää routavaurioiden vakavuutta.

Tässä tutkimuksessa kävi kenttämittaustuloksista lisäksi selvästi ilmi, että oikealla pyörätien lumenaurastavalla voidaan pienentää poikkileikkauksen routanousueroja ja siten pienentää keskihalkeilun määrää.

4.1 Routimisen rajoittaminen

Aikaisemmin pyöräteiden mitoitusperusteena oli lähinnä vain kantavuus ja varsinaista routamitoitusta tehtiin harvoin. Tielaitoksen vanhassa ohjeistuksessa pyöräteille suositellaan tehtäväksi routamitoitus ainoistaan vaikeissa routaolosuhteissa vaatimustason IV mukaisesti.

Pyöräteiden routamitoitukseen on alettu kiinnittää vakavampaa huomiota vasta aivan viime vuosina. Routimista rajoittamalla pyritään pienentämään pyörätien routiminen niin pieneksi, ettei keskihalkeilua pääse syntymään. Pyörätien routimisen rajoittaminen voidaan tehdä joko käyttämällä vastaavia maalaatikkorakenteita kuin maanteiden yhteydessä tai käyttämällä teollisia lämpöeristeitä. Teollisten lämpöeristeiden asemesta on myös käytettävissä uusia halvempia vaihtoehtoisia materiaaleja.

Maalaatikkoratkaisu johtaa vähintään yhtä syvään tai teoriassa jopa syvempään massanvaihtoon kuin maanteiden mitoituksessa, koska kuten edellä todettiin, pyörätie on maantietä herkempi routavaurioille. Siirtymäkiilasyyvyyteen tehdyt massanvaihdot hiekalla ovat kalliita ratkaisuja, eikä paksujen rakenteiden tuomasta kuormituskestävyydestä ole samalla tavalla hyötyä kuin maanteiden yhteydessä. Tämän takia maalaatikkoratkaisu tulee pyöräteiden yhteydessä kyseeseen ainoastaan lievästi routivalla pohjamaalla

(pieni massanvaihtosyvyys) tai silloin, kun samalla voidaan poistaa esim. liian suuren painuman aiheuttava pehmeä pohjamaa.

Teollisia lämpöeristeitä voidaan käyttää samalla tavalla kuin maanteiden yhteydessä estämään roudan tunkeutuminen routivaan pohjamaahan. Lämpöeristeitä kannattaa käyttää esim. routaeristetyn alikulkukäytävän yhteydessä, jolloin sillan lämpöeristerakenne jatkuu saumattomasti siirryttäessä routivaan pyörätieleikkaukseen. Pistekohtaisesti teollisten lämpöeristeiden käyttö on varmasti järkevää, mutta pitkien pyörätieosuuksien routaeristäminen johtaa tällä menetelmällä kalliisiin ratkaisuihin. Etelä-Suomessa kevytsoran käyttö lämpöeristeinä saattaa olla lyhyiden kuljetusetäisyyksien ansiosta taloudellisesti mahdollista.

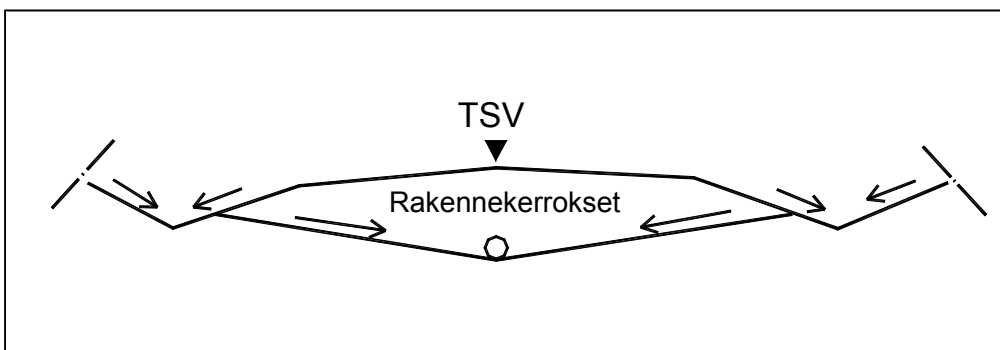
Vaihtoehtoisesti lämpöeristeinä voidaan käyttää "uusia" halvempia materiaaleja. Käytettävissä on ainakin seuraavat materiaalit:

- masuunihiekka
- palaturve
- rengasrouhe

Näitä kaikkia materiaaleja on käytetty routaeristysmateriaaleina Oulun tiepiirin pyöräteillä. Masuunihiekan ja palaturpeen käytöstä on jo noin 10 vuoden käyttökokemukset. Käyttökokemusten ja toteutettujen tutkimusprojektien tulokset on raportoitu tielaitoksen Oulun kehitysyksikön toimesta tielaitoksen julkaisusarjassa käyttöohjeiden muodossa /5/,/6/. Tänä vuonna julkaistiin raportti teräsverkkojen käytöstä lujitteina tie- ja katurakenteissa /7/. Julkaisu sisältää kaiken sen kokemukseräisen tiedon mitä teräsverkkojen käytöstä tällä hetkellä tiedetään. Rengasrouheen osalta käyttökokemukset ovat lyhyempiä, mutta siitäkin on olemassa raportoitua tutkimustietoa /8/.

Palaturve ja masuunihiekka on lämmönjohtavuudeltaan suunnilleen yhtä hyviä lämmöneristysmateriaaleja. Niiden lämmönjohtavuus vaihtelee välillä 0.2 ... 0.8 W/Km kosteustilasta riippuen, mitoitusarvon ollessa noin 0.3 ... 0.5 W/Km. Palaturve on kimmoisa materiaali, mutta sopii kokemusten mukaan hyvin pyörätien lämmöneristekerrosmateriaaliksi. Masuunihiekka on sitouttuaan on betonimaisen kovaa, eikä vaadi päälle kuin ohuen noin 10 cm:n vahvuisen joko sitomattoman murskekerroksen tai masuunihiekalla stabiloidun kerroksen. Palaturvetta saa lähes joka puolelta Suomea, mutta masuunihiekkaa saadaan ainoastaan Raahen ja Koverharin tehtailta. Tornion tehtaalta saadaan lisäksi masuunihiekan rakeisuuden ja lämmöneristyskyvyn omaavaa oktoeristettä, joka ei masuunihiekasta poiketen sitoudu lainkaan. Oulun kaupunki suosii katurakenteissaan mieluummin oktoeristettä, koska katuja joudutaan usein kaivamaan auki esim. kunnallistekniikan muutostöissä.

Yksi mahdollisuus lieventää/poistaa (ehkä teoreettinen) pyörätien reunalle kinostuvan lumen aiheuttamaa reunan ja keskikohdan routanousueroa on käyttää rakenteena V-poikkileikkausta. Tällöin rakennekerrospaksuus on suurin tien keskikohdalla ja pienin pyörätien reunassa (kuva 3). Rakenne vaatii toimiakseen salaojan käyttämisen tien keskellä. Perinteisellä hiekkarakenteella vaadittavat kerrospaksuuserot ovat teoriassa kuitenkin niin suuria, ettei rakennetta voi suositella käytettäväksi. Rakennetyyppiä kannattaisi kokeilla lämmöneritysmateriaaleilla (masuunihiekka, palaturve, rengasrouhe jne.), joilla tarvittavat kerrospaksuuserot ovat pienempiä



Kuva 3: Periaatekuva V-poikkileikkauksesta.

4.2 Routimista sietävät rakenteet

Toinen tapa tehdä pyörätien routamitoitus on antaa pyörätien routia ja suunnitella rakenne, joka kestää rikkoutumatta routaliikkeet ja pitää tien pinnan riittävän tasaisena.

4.2.1 Lujitetut rakenteet

Teräsverkkoja on ensimmäisen kerran käytetty tierakenteissa jo 70-luvun lopulla estämään keskihalkeamien syntymistä. 80-luvulla käyttö vähitellen yleistyi, kunnes 90-luvulla teräsverkkojen käyttö on räjähdysmäisesti kasvanut Oulun tiepiirin alueella. Teräsverkotettuja maanteitä oli tehdyn inventoinnin perusteella 250 km Oulun tiepiirin alueella (1.1.99). Tämän lisäksi teräsverkkoja on käytetty pyöräteillä ehkä noin 30 – 40 km:n matkalla (ei ole vielä inventoitu).

Teräsverkko asennetaan useimmiten kantavaan kerrokseen, jonne se lukittuu murskeen kanssa muodostaen laattamaisesti käyttäytyvän rakenteen, joka estää poikittaissuuntaiset routanousuerot (kuva 4). Toinen tapa on asentaa teräsverkko routavaurion korjauksen yhteydessä vanhan tasoitettun päällysteen päälle, jolloin varsinaisen päällysteen lisäksi tarvitaan teräsverkon päällä peitemassa.

Teräsverkkoina on yleisimmin käytetty lankakokoja 5/6, 5/7 ja 5/8, jolloin paksumpi lanka on tien poikkisuunnassa. Pituussuuntaiset langat toimivat sidelankoina ja niiden tyypillinen lankaväli on 200 mm. Poikittaisterästen lankaväli on yleensä 100 ... 150 mm. Poikittaisten lankojen pituus valitaan siten, että langat menevät reilusti päällysteen ulkopuolelle, mutta eivät kuitenkaan tule esiin luiskasta. Poikittaisteräksen pitää olla sitä paksumpi, mitä leveämmästä tiestä on kyse. Pyörätielle riittää mainiosti 6 mm:n poikittaisteräs. Teräsverkotus tasoittaa myös pituussuuntaisia routanousuja, mutta pajojen pistemäisten routaheittojen kohdalle on syytä lisäksi rakentaa kiilaus (esim. rummut)

Pyöräteillä teräsverkkoja ei ole vielä käytetty kovin pitkään. Käyttöä on lähinnä rajoittanut se seikka, että maanteiden yhteydessä totuttiin käyttämään teräsverkkoa rakenteen parantamisen yhteydessä jo syntyneiden routavaurioiden korjaamisessa. Vuonna 1995 rakennettu pyörätie Tupos - Kempele valtatie 4 vieressä on ensimmäisiä kohteita, joissa teräsverkko asennettiin uuteen rakenteeseen, koska erittäin routivan silttisen pohjamaan takia pyörätielle arvioitiin muutoin tulevan pahoja keskihalkeamia. Neljän talven jälkeen noin 0.6 metrin vahvuinen teräsverkotettu pyörätie on moitteettomassa kunnossa, kun taas viereisellä noin 1.5 ... 1.8 metrin vahvuisella nelostiellä on routahalkeamia. 3.5 kilometrin pituisella yhtenäisellä teräsverkotetulla pyörätiellä ei ole routavaurioita ja pyörätie on tasainen.



Kuva 4: TPPT -koekohde vt4:n pyörätiellä Temmeksellä. Teräsverkoilla ja teräs-poimulevyillä vahvistettu pyörätie, jossa kantava kerros on tehty masuunihiekasta.

Teräsverkotus on lisäksi erittäin halpa menetelmä varmistaa riittävä routakestävyys. Teräsverkotus maksaa kohteen koosta riippuen noin 40000 – 50000 mk/km. Kesällä –98 korjattiin raportissa tutkitut vt8:n pyörätien keskihalkeamat Raahessa ja kesällä -99 korjattiin teräsverkolla vastaavat vauriokohdat paikallisteiden pyöräteillä Limingassa ja Paltamossa.

Teräsverkkojen vaihtoehtona on tarjolla myös rullatavarana lankapaksuudeltaan ohuempia tiheäsilmaisempiä verkkoja. Ne ovat hinnaltaan kuitenkin normaaleja teräsverkkoja noin 4 kertaa kalliimpia. Tarjolla on myös kuituverkkoja. Ne on kuitenkin alunperin kehitetty parantamaan päällysteiden kuormituskestävyyttä, eikä niitä niiden suuren myötövenymän takia voida käyttää estämään routahalkeaman syntymistä. Myös tuotteiden hintasuhte on samaa luokkaa kuin edellä.

Pehmeällä pohjamaalla yksi mahdollisuus on käyttää routamitoituksen varmistamisessa teräspoimulevyä, jolloin samalla saadaan aikaan "kelluva" arinarakenne. Teräspoimulevyä on kokeiltu TPPT:n Temmeksen yhdessä koekohteessa, tosin kovalla pohjamaalla (kuva 4) /8/. Teräspoimulevy torjuu myös hyvin routahalkeilun, mutta materiaalikustannukset ovat paljon kalliimmat kuin teräsverkkoa käytettäessä.

4.2.2 Routimista sietävä pyörätien pinnoite

Valitsemalla jäykän asfalttipäällysteen sijasta joustavampi pinnoite pyörätielle, voidaan pyörätien routamitoitusta lieventää. Tällaisia pinnoitteita ovat esim. kivituhka tai hienorakeinen sora. Tielaitoksen kokemukset tällaisista pyörätierakenteista ovat vähäisiä, mutta eräät kaupungit ja kunnat ovat niitä rakentaneet. Tämä vaihtoehto tarjoaa myös vaiheittain rakentamisen mahdollisuuden, jolloin pyörätien routamitoitus voidaan varmistaa teräsverkotuksella ennen asfalttipäällysteen levittämistä. Vaiheittain rakentamisella voidaan pienentää alussa investointikustannuksia ja jakaa kustannuksia pidemmälle aikavälille.

Vaihtoehtoiset pinnoitteet voisivat sopia vähäliikenteisille pyöräteille, jolloin samalla rahalla saataisiin rakennettua huomattavasti pidempi pyörätieyhteys kuin käyttämällä asfalttipäällystettä. Asiaa selvitettiin tarkemmin tiehallinnon tilaamassa tutkimusprojektissa "Halvat kevyen liikenteen väylät". Tutkimuksessa kartoitettiin tämäntyyppisten rakenneratkaisujen tähänastinen käyttö, haastateltiin käyttökokemuksista, analysoitiin rakenteiden mitoitus ja suoritettiin kustannusvertailuja tavanomaisten rakenneratkaisujen kanssa. Tutkimus toteutettiin osana tekn.yo Timo Reginan diplomityötä /9 /. Tutkimusraportti valmistui syksyllä 1999.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen mukaan pyöräteille syntyy maanteitä herkemmin pituussuuntaista routahalkeilua. Pituussuuntaisen routahalkeaman syntymiseen riittää pyörätiellä noin 10...15 mm:n suuruinen routanousuero tien keskilinjan ja reunan välillä, kun maantiellä vastaava arvo on 25 mm. Pyörätiellä edellytyksen 10...15 mm:n routanousueroille kasvavat routanousun ylittäessä 50 ... 70 mm.

Pyörätien reunaan kinostuva lumikerroksen paksuus on parhaiten epätasaisesti routanousua selittävä tekijä. Pyöräteiden routavaurioiden esiintymisen selittää parhaiten pohjamaan maalaji: Vaurioita on eniten silttipohjaisilla ja vähiten hiekka- ja sorapohjaisilla maapohjilla. Sen sijaan pyörätien poikkeileikkauksen muodon ja vaurioiden esiintymisen välille ei saatu yhteyttä.

Pyöräteiden routamitoitukseen on kiinnitettävä aiempaa tarkempaa huomiota, koska pyörätiet ovat alttiita routavaurioille ja esim. keskihalkeamat laskevat pyöräteiden palvelutasoa. Perinteisten maalaatikkoratkaisujen lisäksi on käytettävissä teolliset lämpöeristeet ja uusiotuotteet (masuunihiekka, palaturve, rengasrouhe). Erittäin tehokas ja taloudellinen tapa varmistaa pyörätien routamitoitus on käyttää teräsverkotettua rakennetta.

6 KIRJALLISUUSVIITTEET

- / 1/. Routavaurio- ja kuivatustutkimus. Pituushalkeamat osat I-III. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 21/1991, 22/1991, 34/1992. TIEL 4000004, TIEL 4000005, TIEL 4000017.

- / 2 /. Jari Nyman, Esko Ehrola. Kevyen liikenteen väylien kuntoluokitussjärjestelmä. Tielaitoksen selvityksiä 60/1997.

- / 3 /. Sari Alatalo. Kevyen liikenteen väylien kuntokartoitus 1997. Insinööritoimisto, julkaisematon.

- / 4/. Temp\w ohjelmistomanuaali.

- / 5/. Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. Tielaitoksen selvityksiä 23/1997. TIEL 3200470.

- / 6/. Palaturpeen käyttö tierakenteissa. Tielaitoksen selvityksiä 35/1997. TIEL 3200481.

- / 7/. Teräsverkkojen käyttö lujitteina tie- ja katurakenteissa. Innogeo oy 1999.

- / 8/. Anu Repo. Ilola-Sannainen pt 11863 painuman korjaus rengasrouherakenteella. Tielaitoksen selvityksiä 19/1998.

- / 9/. TPPT- projekti. Pohjoiset koekohteet.

- / 10/. Timo Regina. Halvat kevyen liikenteen väylät. Tielaitoksen selvityksiä 35/1999.

7 LIITTEET

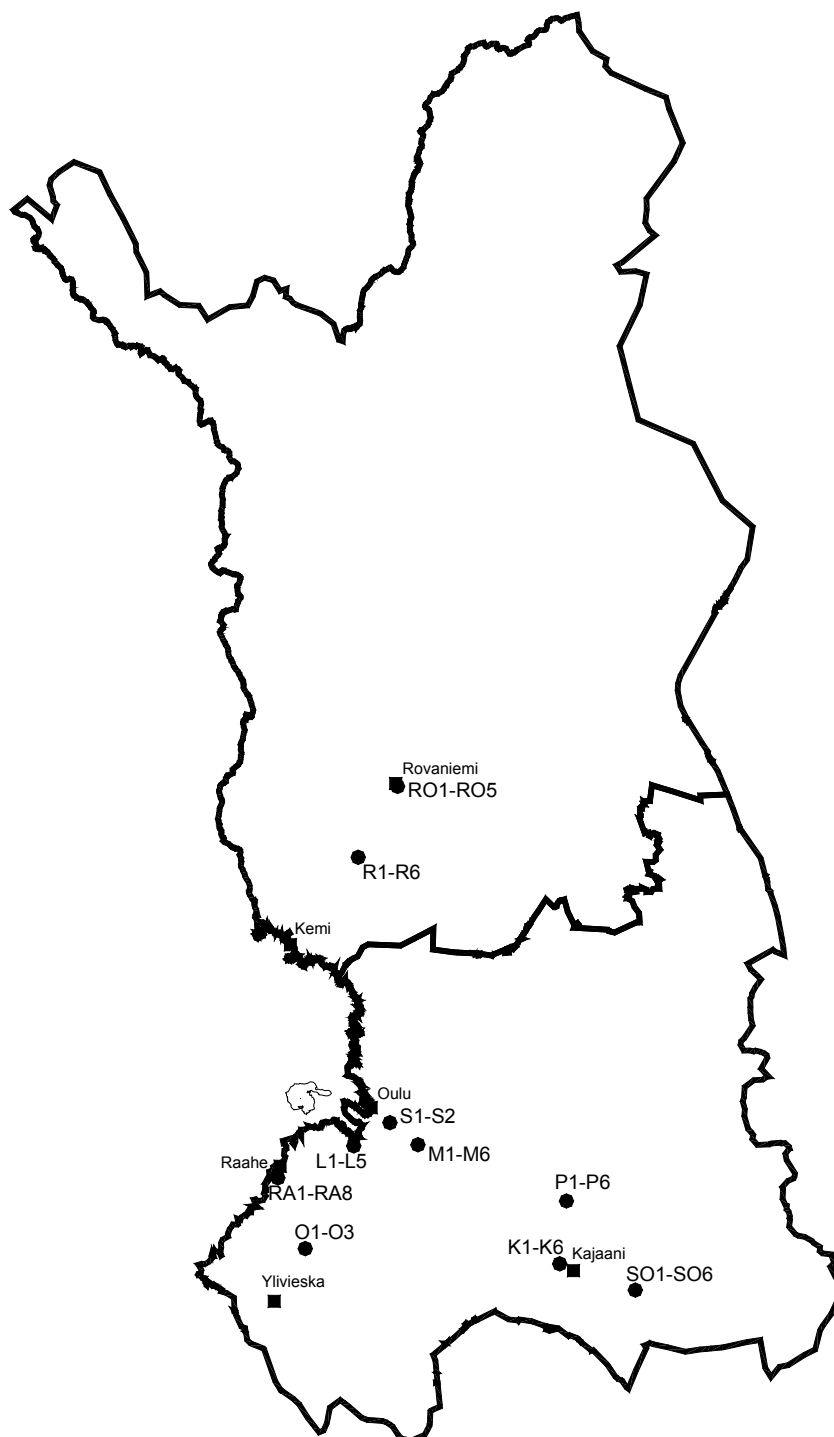
Liite 1 Kenttätutkimuskohteiden sijainti

Liite 2 Routavaaitukset pyöräteillä

Liite 3 Esimerkki routaohjelmistolla tehdyistä laskelmista

Liite 4 Yhteenveto routalaskentaohjelmistolla tehdyistä laskelmista

Kenttätutkimuskohteiden sijainti

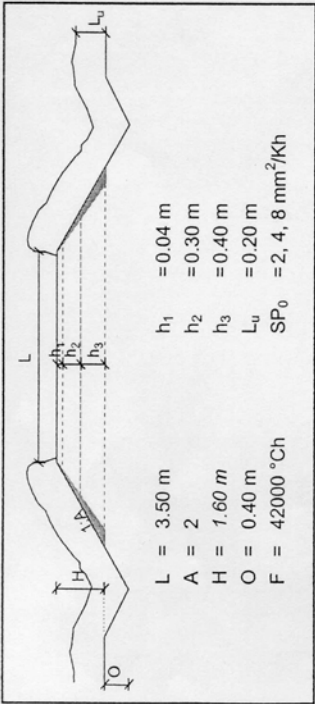


Routavaaitukset pyöräteillä

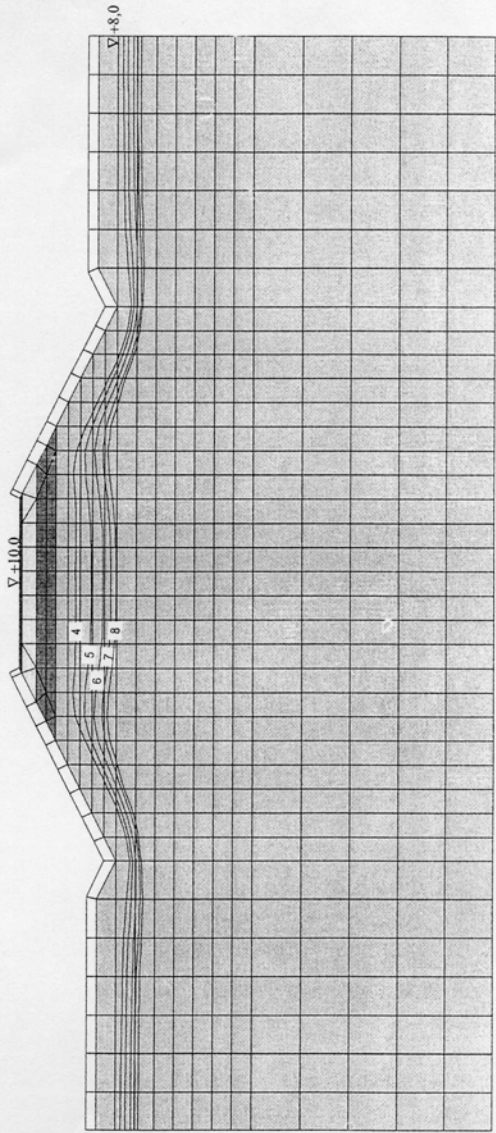
Kohde	Yhteispituus:	Tunnus
• Muhos vt 22 : 3x 100 m + 3x100 m	= 600 m	M1 – M6
• Liminka pt 18666: 3x100 m	= 300 m	L1 – L3
• Liminka pt 18628: 2x 100 m	= 200 m	L4 – L5
• Oulu pt 18628: 2x100 m	= 200 m	S1 – S2
• Raahe vt 8: 3x100 m + 3x100m + 2x100 m	= 800 m	RA1-RA8
• Oulainen kt 86 3x100 m	= 300 m	O1 – O3
• Rovaniemi kt 81 2x 100 m	= 200 m	RO1 -2
• Rovaniemi mt 9421 2 x 100 m + 100 m	= 300 m	RO3 - 5
• Tervola vt4 100 m + 2 x 100 m + 3x100 m	= 600 m	R1 – R6
• Kajaani mt 8801 100m+2x100m+100m+2x100m	= 600 m	K1 – K6
• Paltamo kt 78 3x100m + 2 x 100 m + 100 m	= 600 m	P1 – P6
• Sotkamo mt 888 100m+2x100m+2x100m+100m	= 600m	SO1 - 6
Yhteensä	= 5100 m	

Esimerkki routaohjelmistolla tehdyistä laskelmista.

TAPAUS 1



Tien reuna	Tien keskiosa
$H = 1.91\text{ m}$	$H = 1.99\text{ m}$
$h_{SP=2} = 55\text{ mm}$	$h_{SP=2} = 61\text{ mm}$
$h_{SP=4} = 77\text{ mm}$	$h_{SP=4} = 85\text{ mm}$
$h_{SP=8} = 120\text{ mm}$	$h_{SP=8} = 133\text{ mm}$



Yhteenveto routalaskentaohjelmistolla tehdyistä laskelmista.

N:o	Pakkas. (h°)	Lumi (m)	Penger (m)	Luiska (1:x)	Oja (m)	Routanousut (mm)	Routanousuero (mm)
						SP:2/4/8	SP: 2 / 4 / 8
1	42000	0,20	1,60	2	0,40	61, 85, 133	6, 8, 13
2	42000	0,20	0,80	2	0,40	61, 85, 134	7, 9, 13
3	42000	0,20	0,40	2	0,40	61, 86, 136	7, 11, 17
4	42000	0,20	0,00	2	0,40	59, 84, 133	7, 10, 14
5	42000	0,20	- 1,00	2	0,40	58, 82, 131	8, 10, 14
6	42000	0,20	- 3,00	2	0,40	57, 82, 130	7, 9, 12
7	42000	0,20	0,80	1,5	0,40	61, 86, 135	6, 8, 13
8	42000	0,20	0,80	3	0,40	60, 84, 133	7, 10, 17
9	42000	0,20	0,80	4	0,40	59, 84, 132	6, 10, 14
10	42000	0,20	0,80	2	1,00	62, 87, 137	7, 11, 18
11	42000	0,20	0,80	2	0,00	60, 84, 133	6, 9, 14
12	55000	0,20	0,80	2	0,40	82, 112, 172	7, 10, 15
13	55000	0,20	1,50	2	0,40	82, 112, 173	8, 11, 16
14	55000	0,20	0,40	2	0,40	79, 109, 170	9, 10, 15
15	55000	0,20	0,00	2	0,40	74, 108, 174	13, 19, 30
16	55000	0,20	-1,00	2	0,40	77, 109, 174	10, 13, 20
17	55000	0,20	-3,00	2	0,40	79, 109,171	12, 13, 18
18	55000	0,20	0,80	1,5	0,40	77, 108, 170	7, 10, 15
19	55000	0,20	0,80	3	0,40	80, 111, 172	8, 11, 17
20	55000	0,20	0,80	4	0,40	80, 111, 172	9, 12, 18
21	55000	0,20	0,80	2	1,00	82, 112, 173	8, 10, 16
22	55000	0,20	0,80	2	0,00	76, 108, 174	10, 14, 24
23	28000	0,20	0,80	2	0,40	45, 63, 99	5, 8, 13
24	28000	0,20	1,50	2	0,40	44, 62, 98	5, 7, 13
25	28000	0,20	0,40	2	0,40	44, 62, 97	7, 9, 14
26	28000	0,20	0,00	2	0,40	43, 61, 97	8, 9, 17
27	28000	0,20	-1,00	2	0,40	43, 61, 97	8, 9, 16
28	28000	0,20	-3,00	2	0,40	43,61,98	9, 11,18
29	28000	0,20	0,80	1,5	0,40	45, 63,98	5, 7, 11
30	28000	0,20	0,80	3	0,40	44, 62, 98	7, 10,17

N:o	Pakkas. (h°)	Lumi (m)	Penger (m)	Luiska (1:x)	Oja (m)	Routanousut (mm)	Routanousuero (mm)
						SP:2 / 4 / 8	SP: 2 / 4 / 8
31	28000	0,20	0,80	4	0,40	44, 61, 97	8, 10, 17
32	28000	0,20	0,80	2	1,00	45, 62, 97	5, 7, 12
33	28000	0,20	0,80	2	0,00	45, 62, 97	6, 7, 11
34	42000	0,50	1,60	2	0,40	62, 87, 137	12, 12, 19
35	42000	0,50	0,80	2	0,40	61, 86, 135	9, 13, 20
36	42000	0,50	0,40	2	0,40	60, 84, 132,	8, 10, 16
37	42000	0,50	0,00	2	0,40	59, 83, 132	9, 11, 16
38	42000	0,50	-1,00	2	0,40	58, 83, 132	9, 12, 18
39	42000	0,50	-3,00	2	0,40	58, 82, 131	10, 13, 19
40	42000	0,50	0,80	1,5	0,40	60, 85, 134	7, 11, 17
41	42000	0,50	0,80	3	0,40	60, 85, 134	9, 14, 22
42	42000	0,50	0,80	4	0,40	59, 84, 133	8, 13, 21
43	42000	0,50	0,80	2	1,00	61, 86, 136	8, 12, 18
44	42000	0,50	0,80	2	0,00	60, 84, 134	8, 11, 18
45	42000	0,05	1,60	2	0,40	63, 88, 138	-3, -2, 0
46	42000	0,05	0,80	2	0,40	63, 87, 135	-4, -3, -3
47	42000	0,05	0,40	2	0,40	61, 86, 135	-1,-2, -2
48	42000	0,05	0,00	2	0,40	59, 84, 132	2, 3, 3
49	42000	0,05	-1,00	2	0,40	59, 83, 131	3, 4, 4
50	42000	0,05	-3,00	2	0,40	60, 85, 134	4, 5, 6
51	42000	0,05	0,80	1,5	0,40	65, 90, 140	-6,-5, -5
52	42000	0,05	0,80	3	0,40	62, 85, 132	-2, -3, - 5
53	42000	0,05	0,80	4	0,40	63, 87, 135	0, 1, 2
54	42000	0,05	0,80	2	1,00	64, 88, 137	-6, -13, -7
55	42000	0,05	0,80	2	0,00	64, 89, 138	-2, -2, -3
56	42000	0,20	0,00	2	0,00	59, 84, 134	8, 11, 17
57	42000	0,50	0,00	2	0,00	59, 84, 134	9, 13, 19
58	42000	0,05	0,00	2	0,00	59, 84, 134	4, 5, 8
59	55000	0,20	0,00	2	0,00	75, 108, 175	13, 19, 32
60	42000	0,20	-3,00	2	0,00	58, 83, 132	8, 11, 16
61	42000	0,20	0,80	2	0,40	83, 118, 189	8, 11, 19
62	42000	0,20	0,00	2	0,40	82, 117, 188	9, 12, 18